



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 02 113.2

**Anmeldetag:** 21. Januar 2003

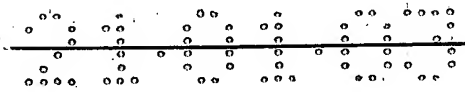
**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

**IPC:** H 04 L 27/26

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. Februar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag



45

1

## Beschreibung

### Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine zur Durchführung des Verfahrens eingerichtete Vorrichtung zur Veränderung und insbesondere Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals, wobei das Signal von einem Signalvektor beschrieben wird und zum Verändern des Crest-Faktors des Signals in Abhängigkeit des Signalvektors wenigstens ein Korrekturvektor berechnet und zum Signalvektor hinzuaddiert wird.

10

Der Crest-Faktor eines Signals gibt das Verhältnis des Spitzenwerts des Signals zu dessen Effektivwert an. Mit steigendem Crest-Faktor nimmt auch der Aufwand zu, der zu einer linearen Verarbeitung des Signals erforderlich ist. Die Signalverarbeitung in diesem Sinne umfasst beispielsweise eine Digital-Analog-Wandlung, eine Analog-Digital-Wandlung, eine analoge oder digitale Filterung, eine Verstärkung oder Abschwächung und eine Übertragung über eine Leitung.

15

20

25

30

Insbesondere Signale, die bei der Anwendung der diskreten Multiton-Modulation erzeugt worden sind, können einen hohen Crest-Faktor aufweisen. Die diskrete Multiton-Modulation (DMT) - auch Mehrträger-Modulation - ist ein Modulationsverfahren, das sich insbesondere zur Übertragung von Daten über linear verzerrende Kanäle eignet. Anwendungsbereiche für die diskrete Multiton-Modulation sind beispielsweise der digitale Rundfunk DAB (Digital Audio Broadcast) unter der Bezeichnung OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) und die Übertragung von Daten über Telefonleitungen unter der Bezeichnung ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

35

Bei diesen Modulationsverfahren setzt sich das Sendesignal aus vielen sinusförmigen Signalen zusammen, wobei jedes einzelne Sinussignal sowohl in der Amplitude als auch in der

Phase moduliert wird. Man erhält somit eine Anzahl von quadraturamplitudmodulierten Signalen. Zur Realisierung kann man im Sender die inverse Fourier-Transformation, insbesondere die inverse FFT (Fast Fourier-Transformation), und im Empfänger die normale Fourier-Transformation, insbesondere die FFT (Fast Fourier-Transformation), verwenden.

Ein Datenübertragungssystem unter Verwendung der diskreten Multitonmodulation weist beispielsweise einen Codierer auf, der die Bits eines seriellen digitalen Datensignals, das übertragen werden soll, einzelnen Trägerfrequenzen zuteilt und einen digitalen Signalvektor im Frequenzbereich erzeugt. Durch eine inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) wird der Signalvektor im Frequenzbereich in den Zeitbereich transformiert. Das durch den erzeugten Signalvektor dargestellte Signal im Zeitbereich weist eine Amplitudenverteilung auf, die ungefähr einer Gauss-Verteilung entspricht. Ein Diagramm einer derartigen Verteilung ist in Figur 10 dargestellt, wobei auf der waagrechten Achse nach rechts verschiedene Amplitudenwerte aufgetragen sind und auf der senkrechten Achse nach oben die Häufigkeit  $n$  des Auftretens der einzelnen Amplitudenwerte aufgetragen ist. Wie in dem Diagramm zu erkennen ist, können auch sehr große Amplitudenwerte mit einer gewissen, wenn auch geringeren, Wahrscheinlichkeit auftreten. Dadurch ist der Crest-Faktor des Signals sehr groß, so dass die sich an die FFT anschließenden Komponenten der Signalübertragungskette einen großen Aussteuerbereich bzw. eine hohe Auflösung besitzen müssen, um Verzerrungen zu vermeiden. Um den dafür erforderlichen Aufwand möglichst gering zu halten, ist es bekannt, den Crest-Faktor des Signals im Zeitbereich zu verringern.

So ist beispielsweise durch die DE 19850642 A1 ein Verfahren zur Reduzierung des Crest-Faktors eines Signals bekannt, bei dem aus dem Signalvektor ein Korrekturvektor berechnet wird, der zum Signal hinzuaddiert wird, wobei der Korrekturvektor so gewählt wird, dass zum einen der Crest-Faktor verringert

HOY  
2701

wird und zum anderen die Spektralanteile des Korrekturvektors sich nur bei der halben Abtastfrequenz des Signals oder bei der Frequenz 0 befinden, so dass durch den Korrekturvektor nur Spektralanteile hinzugefügt werden, die die zu übertragenden Daten wenig oder nicht stören.

Weiterhin sind Verfahren bekannt, bei denen zur Reduzierung des Crest-Faktors bei der diskreten Multiton-Modulation Trägerfrequenzen verwendet werden, die für die Datenübertragung nicht genutzt werden. Diese ungenutzten Trägerfrequenzen sind insbesondere gleichmäßig über den Nutzfrequenzbereich verteilt und schmälern nachteiligerweise so die zur Datenübertragung zur Verfügung stehende Bandbreite. Ein derartiges Verfahren ist durch M. Friese, „Mehrträgermodulation mit kleinem Crest-Faktor“, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 10, Nr. 472, Düsseldorf 1997 bekannt. Weiterhin ist bei diesem Verfahren nachteiligerweise ein hoher Schaltungsaufwand zur Auswahl und Belegung der ungenutzten Trägerfrequenzen nötig und ist es erforderlich, einem Empfänger mitzuteilen, welche Trägerfrequenzen zur Reduzierung des Crest-Faktors verwendet wurden.

Wenn der Crest-Faktor des Signals verringert wird, indem dem Signalvektor wenigstens ein Korrekturvektor überlagert wird, so geschieht dies mit der Zielsetzung, wenigstens einen Maximalwert im Signalvektor und damit dessen Crest-Faktor zu verringern. Nach der Überlagerung des wenigstens einen Korrekturvektors entstehen notwendigerweise an anderer Stelle neue Maximalwerte, die geringer als die zuvor kompensierten sind. Diese neu entstandenen Maximalwerte lassen sich nun nicht mehr verringern, da bei einer nochmaligen Überlagerung mit wenigstens einem Korrekturvektor die zuvor erreichte Verringerung der ursprünglichen Maximalwerte wenigstens zum Teil wieder rückgängig gemacht würde. Somit kann mit dem bekannten Verfahren durch Überlagerung wenigstens eines Korrekturvektors der Crest-Faktor des Signals nur stark begrenzt verringert werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren sowie eine entsprechend ausgestaltete Vorrichtung zum Verändern des Crest-Faktors eines Signals mittels wenigstens eines in Abhängigkeit des Signalvektors berechneten und hinzuaddierten Korrekturvektors zu schaffen, wobei der Crest-Faktor in erhöhtem Maße verändert und insbesondere verringert werden kann.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 23 gelöst. Die Unteransprüche definieren jeweils bevorzugte und vorteilhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

15 Erfindungsgemäß wird dem Signalvektor wenigstens ein Korrekturvektor überlagert, dessen Elemente ein Signal beschreiben, dessen Hüllkurve wenigstens einen Extremwert aufweist. Damit soll ausgedrückt werden, dass die Hüllkurve des wenigstens  
20 einen Korrekturvektors eine Welligkeit aufweist und somit auf verschiedene Abschnitte des Signalvektors unterschiedlich wirkt. Auf diese Weise wird es möglich, Maximalwerte im Signalvektor gezielt zu verringern und dabei andere Bereiche des Signalvektors nur gering oder gar nicht zu beeinflussen. Dies  
25 hat zur Folge, dass beispielsweise nach Anwendung eines ersten Korrekturvektors, der sich am stärksten im Bereich eines ersten Maximalwerts des Signalvektors auswirkt, ein danach entstandener zweiter Maximalwert des Signalvektors durch Anwendung eines zweiten Korrekturvektors verringert werden  
30 kann, der sich nun am stärksten im Bereich des zweiten Maximalwerts des Signalvektors auswirkt. Dieses Verfahren kann im Wesentlichen beliebig oft angewendet werden, um einen nach der Überlagerung eines Korrekturvektors neu entstandenen Maximalwert an anderer Stelle zu verringern. Auf diese Weise  
35 kann der Crest-Faktor des Signals iterativ wesentlich stärker verringert werden. Nach einer bestimmten Anzahl von Schritten; in denen jeweils ein neuer Korrekturvektor berechnet und

überlagert wird, kann das Verfahren abgebrochen werden, da die erzielte Verringerung des Crest-Faktors in der Regel von Schritt zu Schritt abnimmt.

- 5 Grundsätzlich bedeutet eine wellige Hüllkurve des Korrektur-  
vektors, dass der Korrekturvektor zusätzlich zu einer Grund-  
frequenz zusätzliche Spektralanteile aufweist. Diese richten  
sich nach der Form der Hüllkurve. Wenn beispielsweise mit ei-  
nem Korrekturvektor der Signalvektor nur in einem sehr klei-  
10 nen Bereich verändert werden soll, um einen dort gelegenen  
Maximalwert gezielt zu verringern, ohne den übrigen Signal-  
vektor zu beeinflussen, so bedeutet dies, dass das Spektrum  
bei der Grundfrequenz des Korrekturvektors an den Seiten ver-  
breitert ist bzw. Nebenzipfel aufweist, die sich über einen  
15 bestimmten Spektralbereich erstrecken. Wenn dagegen eine  
langgezogene Hüllkurve verwendet wird, mit der nachteiliger-  
weise einzelne Abschnitte bzw. Maximalwerte des Signalvektors  
weniger gezielt beeinflusst werden können, verbreitert sich  
die Spektrallinie bei der Grundfrequenz des Korrekturvektors  
20 weniger stark, so dass sich das gesamte Frequenzspektrum des  
Korrekturvektors in einem schmäleren Spektralbereich befin-  
det.

- 25 Der Spektralbereich, in dem der Korrekturvektor Anteile auf-  
weist, kann nachteiligerweise nicht zur Informationsübertra-  
gung verwendet werden. Dies bedeutet, dass abhängig von der  
Wahl der Hüllkurve des Korrekturvektors mehr oder weniger  
viele Frequenzen im Nutzfrequenzbereich des Signals gestört  
werden. Dabei gilt, dass der gestörte Spektralbereich umso  
30 breiter ist, je gezielter mit dem Korrekturvektor begrenzte  
Abschnitte des Signalvektors beeinflusst werden können.

- Vorteilhafterweise wird der Korrekturvektor durch Multiplika-  
tion eines Grundvektors mit einer Fensterfunktion bzw. durch  
35 Fenstern eines Grundvektors erzeugt. Dies bedeutet eine Mul-  
tiplikation zweier Signale im Zeitbereich, welches eine Fal-  
tung im Frequenzbereich bedeutet. Im Folgenden wird angenom-

men, dass eine Fensterfunktion ein ausgeprägtes Maximum besitzt und zu beiden Seiten hin insbesondere bis Null abfällt. Daraus resultiert nach Multiplikation mit einem Grundvektor ein Korrekturvektor, der in einem Bereich hohe Werte annimmt und dessen Werte außerhalb dieses Bereichs gering und insbesondere Null sind.

Der Grundvektor beschreibt ein Signal mit bestimmten Spektralanteilen, die vorzugsweise am Rand oder außerhalb eines Nutzspektralbereichs zur Informationsübertragung liegen.

Wenn der Grundvektor verwendet werden soll, der durch Skalieren einer Folge von abwechselnd -1 und +1 berechnet wird, so besitzt der Grundvektor nur einen Spektralanteil bei der halben Abtastfrequenz  $f_A$ . Wenn die Elemente des Grundvektors den Laufindex  $i$  besitzen, können die Elemente des Grundvektors  $g_i$  wie folgt berechnet werden:

$$g_i = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^i \left( \max((-1)^i \cdot y_{1,i}) + \min((-1)^i \cdot y_{1,i}) \right)$$

20

Dabei bezeichnet max das größte Element eines Signalvektors und min das kleinste Element eines Signalvektors. Der Korrekturvektor wird dann durch Fenster des Grundvektors berechnet und zum Signalvektor hinzuaddiert, wobei die Fensterfunktion einen Wertebereich von bis zu +1 besitzt.

In einer vorteilhaften Ausführungsform wird der Korrekturvektor jedoch unter Einführung eines Hilfsvektors  $X_h$  zur Verringerung eines betragsmäßig größten Elements des Signalvektors wie folgt berechnet. Dabei wird von einer Fensterfunktion  $w$  ausgegangen, die nur in einem Fensterbereich von Null verschiedene Werte besitzt und so einen Fensterbereich mit  $M$  Werten und einem Laufindex  $\mu$  von 0 bis  $M-1$  definiert, wobei der Fensterbereich derart in Bezug auf den Signalvektor mit  $N$  Elementen gelegt ist, dass das maximale Element des Signalvektors in des Mitte des Fensterbereichs liegt. Die Elemente

des Signalvektors, die im Fensterbereichs liegen, werden zur weiteren Berechnung in den Hilfsvektor  $X_h$  kopiert, der wie der Fensterbereich  $M$  Werte mit dem Laufindex  $\mu$  von 0 bis  $M-1$  besitzt. Wenn  $i$  der Laufindex für den Signalvektor und  $i_{\max}$  der Index für das größte Element des Signalvektors ist, kann der Index  $i_\mu$  für ein in den Hilfsvektor  $X_h$  übernommenes Element des Signalvektors wie folgt berechnet werden, wobei  $i$  der Index des Elements im Signalvektor ist und  $\mu$  der Index des Elements im Hilfsvektor  $X_h$  ist.

$$\begin{aligned} i_\mu &= i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu && \text{wenn } 0 \leq (i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu) < N, \\ i_\mu &= i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu + N && \text{wenn } (i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu) < 0, \text{ und} \\ i_\mu &= i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu - N && \text{wenn } (i_{\max} - \frac{1}{2} \cdot (M-1) + \mu) \geq N. \end{aligned}$$

- 15 In dem Hilfsvektor befindet sich das größte Element  $X_{h_{\max}}$  an der Stelle  $0,5 \cdot (M-1) + 1$ . Anhand der Elemente des Hilfsvektors  $X_h$  und der Fensterfunktion  $w(\mu)$  wird ein Skalierungsfaktor  $d_{\text{opt}}$  für den Korrekturvektor berechnet. Dazu wird für jedes  $\mu$  von 0 bis  $M-1$  der Ausdruck  $(X_{h_{\max}} + X_{h_\mu}) / (1 + w(\mu))$  ausgewertet und das minimale Ergebnis für diesen Ausdruck als  $d_{\text{opt}}$  übernommen, so dass gilt:

$$d_{\text{opt}} = \text{Min} \left( \frac{X_{h_{\max}} + X_{h_\mu}}{1 + w(\mu)} \right)$$

- 25 Zusätzlich wird ein Vorzeichen  $V_z$ , das den Wert  $+1$  oder  $-1$  annehmen kann, wie folgt berechnet, um zu unterscheiden, ob das zu korrigierende, betragsmäßig größte Element ein Minimum oder ein Maximum ist.

$$V_z = \text{Vorzeichen} \left( X_h \left( \frac{M-1}{2} + 1 \right) \right)$$

Die Elemente des Korrekturvektors  $\Delta y_\mu$  werden für den Fensterbereich wie folgt berechnet:

$$\Delta y_\mu = -V_z \cdot d_{\text{opt}} \cdot (-1)^\mu \cdot w(\mu)$$



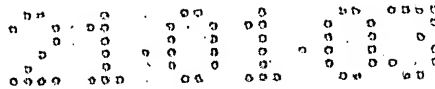
Außerhalb des Fensterbereichs sind die Elemente des Korrekturvektors  $\Delta y$  Null, so dass nur innerhalb des Fensterbereichs die Elemente des Signalvektors mit den Elementen  $\Delta y_\mu$  überlagert werden, wobei der Index  $\mu$  des Korrekturvektors an den Index  $i$  des Signalvektors angepasst werden muss. Der Rechenaufwand für  $d_{opt}$  kann dabei auch beträchtlich reduziert werden, wenn für die Auswertung des oben genannten Ausdrucks nicht alle Werte des Hilfsvektors herangezogen werden, sondern nur einige wenige und zwar nur die betragsmäßig größten mit negativem Vorzeichen. Hiermit kann mit meist drei bis vier Berechnungen bereits der optimale Wert für  $d_{opt}$  ermittelt werden.

Mit dem soeben beschriebenen Algorithmus wird der Maximalwert eines Signalvektors reduziert, ohne weiter entfernt liegende lokale Maximalwerte zu verändern. Daher kann an anderer Position ein neuer Spitzenwert auftreten, so dass es sinnvoll sein kann, die Korrektur mehrfach zu wiederholen. Die sinnvolle Anzahl der Iterationen hängt dabei auch von der Länge des Fensterbereichs ab.

Selbstverständlich kann die Fensterfunktion auch so ausgelegt sein, dass sie zwei oder auch mehr Bereiche aufweist, in denen die Elemente von Null verschieden sind, so dass zwei oder mehr Bereiche des Signalvektors beeinflusst werden können. Eine derartige Fensterfunktion kann beispielsweise durch Addition mehrerer Fensterfunktionen erzielt werden, bei denen das lokale Maximum sich jeweils an anderer Stelle befindet. Mit Hilfe einer derartigen Fensterfunktion mit mehreren lokalen Maximalwerten können gleichzeitig mehrere lokale Extremwerte im Signalvektor beeinflusst und insbesondere verringert werden. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich jedoch immer auf eine Fensterfunktion mit einem lokalen Maximum bzw. Extremwert, wobei die Ausführungen gegebenenfalls mit Änderung und/oder Einschränkungen auch für Fensterfunktionen mit mehreren lokalen Extremwerten gelten.

Die Fensterfunktion wird vorteilhafterweise so gewählt, dass der Bereich um das lokale Maximum möglichst schmal ist, jedoch das Spektrum des Grundvektors nur gering verbreitert wird. Diese beiden grundsätzlich entgegenstehenden Forderungen lassen sich unterschiedlich gut erfüllen, wobei Fensterfunktionen, die die beiden Forderungen besser erfüllen, in der Regel nachteiligerweise einen höheren Berechnungsaufwand erfordern. Das einfachste Beispiel für eine derartige Fensterfunktion ist das Rechteckfenster, dessen Länge sich nur über einen Teil der Länge des Grundvektors erstreckt. Weiterhin kann auch ein Dreieckfenster, ein Von-Hann-Fenster, ein Gauss-Fenster, Hamming-Fenster oder ein Blackman-Fenster verwendet werden, wobei grundsätzlich beliebige Fensterfunktionen denkbar sind. In der Regel werden vorteilhafte Fensterfunktionen auf der Grundlage einer Sinus- oder Kosinusfunktion berechnet.

In einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Signal Träger von Daten, wobei alle Spektralanteile der Daten unterhalb der durch  $2^{N+1}$  geteilten Abtastfrequenz des Signals liegen,  $N$  ganzzahlig und  $\geq 1$  ist. Dies bedeutet, dass der genutzte Frequenzbereich sich nur maximal bis zu  $\frac{1}{4}$  der Abtastfrequenz bzw. bis zur halben Nyquist-Frequenz erstreckt. In diesem Fall können die Elemente des Signalvektors zyklisch abwechselnd auf  $2^N$  Teilsignalvektoren aufgeteilt werden und kann für jeden Teilsignalvektor unabhängig ein Korrekturvektor berechnet werden. Nach der Addition der jeweils berechneten Korrekturvektoren zu dem jeweiligen Teilsignalvektor werden die Elemente der Teilsignalvektoren zyklisch abwechselnd wieder zu einem Ausgabesignalvektor zusammengesetzt. Dieses Verfahren bietet sich insbesondere in den Fällen an, in denen die Abtastfrequenz des Signals erhöht und insbesondere verdoppelt wird, ohne dass der Spektralbereich der enthaltenen Informationen bzw. Daten vergrößert wird. Dies tritt insbesondere beim Tiefpassfiltern auf, wenn beispielsweise  $N=1$  und somit der Spektralbereich der Informationen nur bis zur hal-



ben Nyquist-Frequenz geht. Die Elemente des Signalvektors werden dann auf zwei Teilsignalvektoren aufgeteilt, für die jeweils unabhängig voneinander ein geeigneter Korrekturvektor zur Verringerung des Crest-Faktors berechnet werden kann.

5

Nach der Übertragung des Signalvektors über eine Leitung zum Empfänger, wird der empfangene Signalvektor auf der Empfängerseite in aller Regel mittels einer normalen Fourier-

10

Transformation und insbesondere einer Fast Fourier-Transformation in den Frequenzbereich zurückgewandelt. In aller Regel liegt auf der Sendeseite ein kontinuierliches Signal vor, das zur Übertragung in Zeitabschnitte unterteilt wird, die in Form jeweils eines Signalvektors zum Empfänger übertragen werden. Der Übertragungsweg bis zum Empfänger weist

15

aufgrund von eingefügten Filtern und der Leitung ein bestimmtes Übertragungsverhalten auf, das in Bezug auf die Signalform des übertragenen Signalvektors Einschwingvorgänge bedingt. Dies hat zur Folge, dass auf der Empfängerseite die Signalform des Signalvektors am Anfang stärker gestört ist.

20

Dies erschwert die Entzerrung auf der Empfängerseite, da periodische Störungen, die sich über die gesamte Länge des empfangenen Signalvektors gleichförmig auswirken, leichter entzerrt werden können als aperiodische Störungen, die nur in einem Abschnitt des Signalvektors auftreten und beispielsweise durch die Einschwingvorgänge verursacht werden. Aus diesem

25

Grund kann vorteilhafterweise vorgesehen werden, den Signalvektor vorne oder hinten um ein Prefix oder ein Guard-Intervall zu verlängern. Dazu wird an einem ersten Ende des Signalvektors ein Teil des Signalvektors vom entgegengesetzten

30

zweiten Ende des Signalvektors angefügt, wobei der Signalvektor zyklisch verlängert wird. Wenn beispielsweise ein Teil am Ende des Signalvektors als Prefix vor den Signalvektor vorangestellt wird, kann die Übertragungsstrecke einschließlich aller Kanal- und Filterverzerrungen während dieses Prefixes bereits einschwingen, so dass sich idealerweise

35

die Übertragungsstrecke zu Beginn des Signalvektors bereits im eingeschwungenen Zustand befindet und der empfangene Sig-

nalvektor leichter entzerrt werden kann. Dazu wird auf der Empfängerseite der Signalvektor samt Prefix bzw. Guard-Intervall empfangen und nur der Signalvektor ohne Prefix bzw. Guard-Intervall der Signalverarbeitung durch insbesondere inverse Fourier-Transformation zugeführt.

Wenn bei einem Übertragungsverfahren unter Verwendung eines Prefixes bzw. Guard-Intervalls der Crest-Faktor mittels eines überlagerten Korrekturvektors verändert werden soll, muss folgendes beachtet werden. Grundsätzlich muss der Korrekturvektor an die Länge des Signalvektors angepasst werden. Wenn der Korrekturvektor vor der Anfügung des Prefixes oder des Guard-Intervalls überlagert wird, besitzt der Korrekturvektor die Länge des Signalvektors, so dass mit der Anfügung des Prefixes oder Guard-Intervalls auch der bereits überlagerte Korrekturvektor zyklisch fortgeschrieben wird. Wird der Korrekturvektor nach Anfügen des Prefixes oder Guard-Intervalls überlagert, muss der Korrekturvektor die Länge des Signalvektors zuzüglich des Guard-Intervalls aufweisen.

Wenn das Guard-Intervall nach der Addition des Korrekturvektors angefügt wird, kann die Berechnung des Korrekturvektors wie zuvor beschrieben durchgeführt werden, da bei der Anfügung des Guard-Intervalls der entsprechende Abschnitt des Signalvektors zusammen mit einem gegebenenfalls dort wirkenden Korrekturvektor übernommen wird. Wenn dagegen das Guard-Intervall vor der Addition des Korrekturvektors angefügt wird, muss berücksichtigt werden, wo ein Fensterbereich mit von Null verschiedenen Werten des Korrekturvektors in Bezug auf den Signalvektor und das Guard-Intervall liegt. Liegt der Fensterbereich vollständig innerhalb des Signalvektors und außerhalb des Guard-Intervalls, kann der Korrekturvektor ebenso wie zuvor beschrieben berechnet werden. Wenn dagegen der Fensterbereich derart am Rand des Signalvektors liegt, dass er über ein Ende des Signalvektors hinausragen würde, muss der hinausragende Teil des Fensterbereichs zyklisch am anderen Ende des Signalvektors fortgeschrieben werden, das

heißt unter Umständen auch an der Grenze zwischen Guard-Intervall und Signalvektor und nicht am Anfang des aus Guard-Intervall und Signalvektor zusammengesetzten Vektors. Grundsätzlich muss bei dem letzteren Fall der Korrekturvektor so berechnet werden, dass auch nach seiner späteren Addition zu dem bereits mit Guard-Intervall versehenen Signalvektor sich der gleiche Summenvektor ergibt, als ob zuerst der Signalvektor mit dem Guard-Intervall erweitert und dann der Korrekturvektor in Abhängigkeit des erweiterten Signalvektors berechnet und zum erweiterten Signalvektor hinzuaddiert worden wäre.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen näher erläutert.

Figur 1 zeigt den schematischen Aufbau einer Schaltungsanordnung zur Datenübertragung nach der diskreten Multiton-Modulation,

Figur 2 zeigt einen Ausschnitt der Schaltungsanordnung gemäß Figur 1, der die Komponenten zur Verringerung des Crest-Faktors in einem Ausführungsbeispiel bei verdoppelter Abtastfrequenz detaillierter wiedergibt,

Figur 3 zeigt Komponenten zur Verringerung des Crest-Faktors mit anschließender Hinzufügung eines Guard-Intervalls,

Figur 4 zeigt Komponenten zur Verringerung des Crest-Faktors, wobei ein Guard-Intervall vor Überlagerung mit einem Korrekturvektor angefügt wird,

Figur 5 zeigt unterschiedliche Anordnungen eines Fensterbereichs einer Fensterfunktion in Bezug auf einen Signalvektor,

Figur 6 zeigt unterschiedliche Anordnungen eines Fensterbereichs eines Korrekturvektors in Bezug auf einen um ein Guard-Intervall erweiterten Signalvektor,

- 5 Figuren 7 bis 9 zeigen Zeitverläufe und Spektren einer Fensterfunktion, eines Grundvektors und des gefensterten Grundvektors, und

- 10 Figur 10 zeigt die Amplitudenverteilung des Sendesignals bei der diskreten Multitonmodulation.

Die in Figur 1 schematisch dargestellte Schaltungsanordnung beschreibt ein System zur Datenübertragung nach dem Verfahren der diskreten Multiton-Modulation. Dabei sendet eine Datenquelle 1 digitale Daten seriell an einen ersten Seriell-/Parallel-Wandler 2, der die seriellen Daten in Datenblöcke mit jeweils  $N/2$  Teilblöcke aufteilt. Die Zahl  $N$  beschreibt die Anzahl der Elemente des zur Datenübertragung im Zeitbereich verwendeten Signalvektors.

20 Die Teilblöcke werden parallel an einen Codierer 3 übertragen, der jeden der  $N/2$  Teilblöcke auf jeweils eine Trägerfrequenz der zur Datenübertragung zur Verfügung stehenden  $N/2$  Trägerfrequenzen verteilt und damit einen ersten digitalen Signalvektor im Frequenzbereich mit  $N/2$  Elemente  $C_1, C_2, \dots, C_{N/2}$  zur Amplituden- und Phasenmodulation jeweils einer Frequenz erzeugt.

30 Aus diesem Signalvektor im Frequenzbereich erzeugt ein erster inverser Fourier-Transformator 4 durch eine inverse schnelle Fourier-Transformation einen Signalvektor  $y$  im Zeitbereich mit  $N$  Elementen  $y_1, y_2, \dots, y_N$  (entsprechend den  $N$  Abtastwerten). Die  $N$  Elemente des Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  im Zeitbereich entsprechen dabei  $N$  Abtastwerten des zu sendenden Signals. Dabei weist der Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  im Zeitbereich einen hohen Crest-Faktor auf. Dieser soll verändert und insbesondere verringert werden.

Der Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  im Zeitbereich wird parallel zu einem Parallel-/Seriell-Wandler 5 übertragen; indem vor den Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  ein Prefix vorangestellt wird.

- 5 Dieses Prefix wird von  $M$  Elementen des Signalvektors  $y$  im Zeitbereich gebildet, wobei die  $M$  Elemente sich am Ende des Signalvektors  $y$  vor dem letzten Element befinden, so dass die Elemente  $y_{N-M}$  bis  $y_{N-1}$  dem ursprünglichen Signalvektor  $y_1, y_2, \dots, y_N$  vorangestellt werden. Der daraus entstehende erweiterte Signalvektor weist  $N + M$  Elemente auf. Diese Maßnahme
- 10 wird auch als Cyclic-Prefix bezeichnet. Durch das Prefix wird erreicht, dass auf der Empfängerseite die Einschwingvorgänge bis zum Beginn des Signalvektors  $y_1, y_2, \dots, y_N$  im Wesentlichen abgeschlossen sind und die Entzerrung vereinfacht werden
- 15 kann.

Der erweiterte Signalvektor im Parallel-/Seriell-Wandler 5 wird seriell zu einer Korrekturvorrichtung 17 übertragen, die zur Verringerung des Crest-Faktors dient und später im Detail

20 beschrieben werden wird. Die Korrekturvorrichtung 17 liefert Ausgangsdaten seriell an einen Digital/Analog-Wandler 6, dessen analoges Ausgangssignal von einem Sendeverstärker 7 zur Übertragung über einen Übertragungskanal 8 verstärkt wird. Dabei wird das Übertragungssignal vom Übertragungskanal 8 li-

25 near verzerrt und durch eine Addition 9 von einem Rauschanteil 10 überlagert. Das Rauschen kann dabei an vielen Stellen, beispielsweise im Übertragungskanal 8 durch Über- oder Nebensprechen im Sendeverstärker 7 oder im Digital/Analog-Wandler 6 entstehen.

30 Auf der Empfängerseite befindet sich ein Entzerrer 11, dem das übertragene Signal zugeführt wird und der das Signal entzerrt und an einen Analog/Digital-Wandler 12 weiterleitet. Das digitale Ausgangssignal des Analog/Digital-Wandlers 12

35 wird seriell einem Seriell-/Parallel-Wandler 13 zugeführt, der die Elemente des um das Prefix erweiterten Signalvektors  $y$  aufnehmen kann. Der Signalvektor mit Prefix wird bis zum

Ende in den Seriell-/Parallel-Wandler 13 durchgeschoben, wobei sich am Ende der Schiebeoperation das Prefix am Ende des Seriell-/Parallel-Wandlers 13 und der ursprüngliche Signalvektor dahinter befindet. Von dem Seriell-/Parallel-Wandler

5 13 wird nur der ursprüngliche Signalvektor ohne Prefix parallel als empfangener Signalvektor  $x_1, x_2, \dots, x_N$  an einen zweiten Fourier-Transformator 14 übertragen. Der empfangene Signalvektor  $x_1, x_2, \dots, x_N$  im Zeitbereich wird durch den zweiten Fourier-Transformator 14 durch schnelle Fourier-

10 Transformation zurück in den Frequenzbereich übertragen und liefert einen empfangenen Signalvektor  $d_1, d_2, \dots, d_{N/2}$  im Frequenzbereich mit  $N/2$  Elementen. Dadurch wird das durch den Signalvektor dargestellte Empfangssignal auf die verschiedenen Trägerfrequenzen der diskreten Multiton-Modulation abgebildet. Der empfangene Signalvektor im Frequenzbereich  $d_1, d_2, \dots, d_{N/2}$  wird einer Empfangsstufe 15 zugeführt, die aus der Amplitude und der Phase der Trägerfrequenzen die digitalen Daten berechnet und einer Datensenke 16 zuführt.

20 In Figur 2 ist ein Ausschnitt der Schaltungsanordnung gemäß Figur 1 um die Korrekturvorrichtung 17 im Detail dargestellt. Wie zuvor beschrieben liefert der erste Fourier-Transformator 4 einen Signalvektor  $y$  im Zeitbereich, der im Parallel-/Seriell-Wandler 5 mit einem Prefix versehen und seriell als

25 erweiterter Signalvektor im Zeitbereich ausgegeben wird. Der erweiterte Signalvektor im Zeitbereich durchläuft einen digitalen Hochpass 18, in dem die Spektralanteile in einem unteren Frequenzbereich entfernt werden, der zur Übertragung von Telefongesprächen über eine Telefonleitung verwendet wird.

30 Anschließend durchläuft der Signalvektor einen ersten Tiefpass 19, der die Spektralanteile oberhalb der Nyquist-

Frequenz entfernt. In dem ersten Tiefpass 19 wird dazu die Abtastfrequenz verdoppelt, das durch den nach oben gerichteten Pfeil signalisiert wird. Am Ausgang des ersten Tiefpasses 35 19 liegt somit der erweiterte Signalvektor im Zeitbereich mit der doppelten Abtastfrequenz  $f_A$  und damit der doppelten Anzahl an Elementen vor. Das Ausgangssignal des ersten Tiefpas-



16

ses 19 wird zu einem ersten Umschalter 20 geleitet, der im Takt der doppelten Abtastfrequenz  $f_A$  die Elemente auf zwei Teilsignalvektoren verteilt, die jeweils in eines von zwei Teilsignalvektorregistern 21, 24 geladen werden. Dabei werden  
5 die Elemente des erweiterten Signalvektors vom Ausgang des ersten Tiefpasses 19 abwechselnd auf die beiden Teilsignalvektoren verteilt. Im Ergebnis enthält somit der erste Teilsignalvektor die Elemente des erweiterten und Abtastfrequenzverdoppelten Signalvektors im Zeitbereich mit geradem Zeitindex, das heißt die Elemente  $y_k, y_{k-2}, y_{k-4}, \dots$ , wohingegen der  
10 zweite Teilsignalvektor die Elemente mit ungeradem Zeitindex  $y_{k-1}, y_{k-3}, y_{k-5}, \dots$ , enthält, wobei  $k$  der Laufindex für die Elemente des abtastfrequenzverdoppelten, erweiterten Signalvektors darstellt und somit bis  $2N$  läuft.

Die beiden Teilsignalvektorregister 21 und 24 liefern die beiden Teilsignalvektoren  $y_k, y_{k-2}, \dots$  und  $y_{k-1}, y_{k-3}, \dots$  jeweils an eine erste bzw. zweite Teilkorrekturvorrichtung 22 bzw. 25. In jeder dieser beiden Teilkorrekturvorrichtungen 22  
20 und 25 wird in Abhängigkeit des jeweils anliegenden Teilsignalvektors ein Korrekturvektor berechnet, dem Signalvektor überlagert bzw. zu diesem hinzuaddiert und als Ergebnis dieser Überlagerung ein Teilausgangsvektor  $z$  ausgegeben. Dabei wird von der ersten Teilkorrekturvorrichtung 22 ein erster  
25 Teilausgangsvektor mit geradzahligem Zeitindex erzeugt, der die Elemente  $z_k, z_{k-2}, z_{k-4}, \dots$  aufweist. Der von der zweiten Teilkorrekturvorrichtung 25 erzeugte Teilausgangsvektor umfasst die Elemente mit ungeradem Zeitindex  $z_{k-1}, z_{k-3}, z_{k-5}, \dots$ . Die beiden Teilausgangsvektoren werden parallel zu Teilausgangsregistern 23, 26 geschrieben, von denen sie seriell ausgegeben werden können. Die Ausgangssignale der beiden Teilausgangsregister 23, 26 werden zu einem zweiten Umschalter 27  
30 geleitet, der synchron zum ersten Umschalter 20 mit der doppelten Abtastfrequenz  $2f_A$  getaktet wird und die Elemente der beiden Teilausgangsvektoren in den beiden Teilausgangsregistern 23, 26 abwechselnd zu einem einzigen Vektor zusammenfügt, der wiederum  $2N$  Elemente umfasst. Am Ausgang des zwei-  
35

ten Umschalters 27 liegt somit der vom ersten Tiefpass 19 gelieferte in Bezug auf die Abtastfrequenz verdoppelte, erweiterte Signalvektor im Zeitbereich an, bei dem zusätzlich eine Verringerung des Crest-Faktors vorgenommen wurde.

5

Im inneren der beiden Teilkorrekturvorrichtungen 22, 25 findet jeweils die gleiche Operation statt, die im Folgenden beschrieben wird.

10

Grundsätzlich wird ein Korrekturvektor verwendet, der nur Spektralanteile bei der Abtastfrequenz  $f_A/2$  aufweist, so dass er durch Skalieren eines Vektors mit den Elementen +1, -1, ... erzeugt werden kann. Diese Folge aus abwechselnd +1 und -1 wird so skaliert, dass ein Maximalwert im Teilsignalvektor und auch der Crest-Faktor verringert werden. Gleichzeitig wird durch einen derartigen Korrekturvektor die Information in den Frequenzkanälen nicht gestört, da ein derartiger Korrekturvektor nur Frequenzanteile bei der Nyquist-Frequenz hinzufügt, die nicht zur Datenübertragung verwendet wird.

15

20

Im Folgenden soll zur Beschreibung der Berechnung eines Korrekturvektors ein neuer Laufindex  $i$  eingeführt werden, der die Elemente eines Teilsignalvektors fortlaufend durchnummeriert. Dieser neue Laufindex  $i$  läuft von 1 bis  $N$ . Der Korrekturvektor für den ersten Teilsignalvektor soll mit  $\Delta y_1$  und der erste Teilsignalvektor mit  $y_1$  bezeichnet werden. Davon ausgehend berechnet sich der erste Korrekturvektor  $\Delta y_1$  wie folgt:

25

$$\Delta y_1 = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^i \left( \max((-1)^i \cdot y_{1i}) + \min((-1)^i \cdot y_{1i}) \right)$$

30

Dabei bezeichnet  $\max$  das größte Element eines Vektors und  $\min$  das kleinste Element eines Vektors. Die Berechnung des zweiten Korrekturvektors zur Verwendung in der zweiten Teilkorrekturvorrichtung 25 erfolgt analog, wobei anstelle des ersten Teilsignalvektors  $y_{1i}$  ein zweiter Teilsignalvektor  $y_{2i}$

35

tritt, der die Elemente  $y_{k-1}$ ,  $y_{k-3}$ ,  $y_{k-5}$ , ... beinhaltet. Entsprechend wird ein zweiter Korrekturvektor  $\Delta y_2$  berechnet.

Die beiden berechneten Korrekturvektoren  $\Delta y_1$  und  $\Delta y_2$  werden mit einer Fensterfunktion  $w$  multipliziert, die nur in einem oder unter gewissen Umständen zwei Bereichen von Null verschieden ist, so dass große Bereiche der beiden Korrekturvektoren zu Null gemacht bzw. ausgeblendet werden. Die Fensterfunktion wird so gewählt, dass sie das Spektrum der Korrekturvektoren  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$  möglichst wenig verbreitert, aber dennoch einen schmalen Fensterbereich aufweist, in dem die Werte von Null verschieden sind.

In Figur 7 ist links der zeitliche Verlauf einer solchen Fensterfunktion schematisch dargestellt. In dem Diagramm rechts daneben ist das Spektrum der dargestellten Fensterfunktion abgebildet. Das Spektrum besitzt das Maximum bei Null und läuft zu steigenden Frequenzen hin innerhalb eines schmalen Bereichs aus. Die beiden Korrekturvektoren  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$  sind zeitdiskret und besitzen einen zeitlichen Verlauf, wie er in Figur 8 links dargestellt ist. Da die Hüllkurve der noch ungefensterten Korrekturvektoren bzw. der durch die beiden Korrekturvektoren  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$  beschriebenen Signale keine Welligkeit aufweist, besitzt der in Figur 8 links dargestellte Korrekturvektor nur einen schmalen Spektralbereich, wie es in dem in Figur 8 rechts dargestellten Diagramm dargestellt ist.

In Figur 9 ist links der zeitliche Verlauf des mit der Fensterfunktion gemäß Figur 7 gefensterten Korrekturvektors gemäß Figur 8 dargestellt, wobei die obere und untere Hüllkurve des Signals mit einer dünnen durchgezogenen Linie angezeigt ist. Der zugehörige Verlauf des Spektrums ist in Figur 9 rechts dargestellt. Wie zu erkennen ist, verbreitert sich das ursprüngliche Spektrum des Korrekturvektors gemäß Figur 8. Dies hat zur Folge, dass durch die Addition der nunmehr gefensterten Korrekturvektoren  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$  zu den jeweiligen Teilsignal-

vektoren mehr Spektralanteile hinzugefügt werden, als es bei ungefensterten Korrekturvektoren der Fall gewesen wäre, und somit mehr Frequenzen des Signalvektors gestört und für eine Informationsübertragung unbrauchbar gemacht werden. Umgekehrt wird aber der Vorteil erzielt, dass die beiden Teilsignalvektoren  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$  bzw. ein nicht aufgeteilter Signalvektor gezielt nur an der Stelle korrigiert werden, der von der Lage des Fensterbereichs in der Fensterfunktion bestimmt wird.

Vorteilhafterweise werden die Elemente des Korrekturvektors  $\Delta y_\mu$  innerhalb eines Fensterbereich mit dem Index  $\mu$  der Fensterfunktion  $w$  jedoch folgt berechnet:

$$\Delta y_\mu = -V_z \cdot d_{opt} \cdot (-1)^\mu \cdot w(\mu)$$

Dabei gilt für die Faktoren  $V_z$  und  $d_{opt}$  und den Laufindex  $\mu$  das eingangs Gesagte. Außerhalb des Fensterbereichs sind die Elemente des Korrekturvektors Null.

In Figur 5 sind drei verschiedene Fälle der Anordnung bzw. Überlagerung des Fensterbereichs  $H$  in Bezug auf das maximale Element des Signalvektors  $S$  dargestellt. Die Lage des maximalen Elements innerhalb des Signalvektors  $S$  ist mit einem nach oben gerichteten und mit dem Wort max versehenen Pfeil gekennzeichnet. Grundsätzlich ist der Fensterbereich  $H$  so gelegt, dass sich seine Mitte bei dem maximalen Element des Signalvektors  $S$  befindet. Daraus ergeben sich drei Fälle. Wenn der Abstand des maximalen Elements  $max$  zum vorderen und hinteren Ende des Signalvektors  $S$  größer als der halbe Fensterbereich  $H$  ist, ergibt sich der oben dargestellte Fall und der Fensterbereich  $H$  wird ungeteilt an der richtigen Stelle angeordnet. Die Anordnung des Fensterbereichs  $H$  bedeutet gleichermaßen, dass ein mit diesem Fensterbereich  $H$  gefensterter Korrekturvektor nur in diesem Bereich von Null verschiedene Elemente aufweist und daher nur in diesem Bereich auf die Elemente des Signalvektors  $S$  hinzuaddiert wird.

Wenn das maximale Element max sich nahe am Anfang des Signalvektors S befindet, wie es im mittleren Fall dargestellt ist, muss am Anfang ein Teil des Fensterbereichs abgeschnitten werden. Dieser abgeschnittene Teil wird über das Ende des Signalvektors S angeordnet, so dass sich bei zyklischer Fortschreibung des Signalvektors zusammen mit dem Fensterbereich wieder der ursprüngliche Fensterbereich zusammensetzt.

Entsprechendes gilt für den unten dargestellten dritten Fall, bei dem das maximale Element max sich am Ende des Signalvektors S befindet. In diesem Fall wird das Ende des Fensterbereichs abgeschnitten und über dem Anfang des Signalvektors S angeordnet, so dass wiederum bei zyklischer Fortschreibung des Signalvektors S der gesamte Fensterbereich H zusammensetzt.

Bei dem zuvor beschriebenen Verfahren wurde von einem Signalvektor S ausgegangen, der nicht um ein Guard-Intervall verlängert wird. Im Folgenden sollen die in Figur 6 dargestellten Fälle betrachtet werden, bei denen der Signalvektor vorne mit einem Guard-Intervall G erweitert worden ist. Das Guard-Intervall G am vorderen Ende ist eine Kopie des hinteren Endes des Signalvektors S. Bei dem in Figur 6 oben dargestellten Fall ergibt sich keine Änderung gegenüber dem in Figur 5 oben dargestellten Fall, da der Fensterbereich H auf Grund der Lage des maximalen Elements max des Signalvektors S vollständig innerhalb des Signalvektors S liegt.

Bei dem in Figur 6 mittig dargestellten Fall liegt das maximale Element max am Anfang des Signalvektors S, so dass der darüber angeordnete Fensterbereich H nach vorne darüber hinaus steht. Dieser hinausstehende Teil wird wie beim entsprechenden Fall in Figur 5 am Ende angefügt, wobei gleichzeitig der hinausstehende Teil H' des Fensterbereichs sich auch in das Guard-Intervall G fortsetzt und dort verbleibt. Entsprechendes gilt bei dem in Figur 6 unten dargestellten Fall, bei dem das maximale Element max sich am Ende des Signalvektors

befindet. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Fensterbereich  $H$  derart einem mit einem Guard-Intervall  $G$  erweiterten Signalvektor  $S$  überlagert werden muss, dass sich nach der Überlagerung der gleiche Summenvektor ergibt, wie er sich bei Anfügung eines Guard-Intervalls  $G$  an einen bereits mit dem Korrekturvektor überlagerten Signalvektor  $S$  ergeben würde.

10 In Figur 2 ist die Verringerung des Crest-Faktors nach einer Verdoppelung der Abtastfrequenz  $f_A$  mit einer Aufteilung der Elemente des Signalvektors  $S$  mit Guard-Intervall  $G$  auf zwei Teilsignalvektoren beschrieben. Diese Vorgehensweise bietet sich auf Grund der Verdoppelung der Abtastfrequenz  $f_A$  an.

15 In Figur 3 ist eine alternative Ausführungsform dargestellt, in der der Korrekturvektor zu dem Signalvektor  $S$  vor der Anfügung des Guard-Intervalls  $G$  hinzuaddiert wird. Wie bei den vorigen Ausführungsbeispielen liefert der Codierer 3 den Signalvektor im Frequenzbereich an den inversen Fourier-Transformator 4, der am Ausgang den Signalvektor  $S$  im Zeitbereich  
20 direkt an eine Korrekturvorrichtung 17 liefert. In dieser wird ein geeigneter Korrekturvektor berechnet und mit einer von einer Fenstervorrichtung 30 gelieferten Fensterfunktion multipliziert bzw. gefenstert. Der gefensterte Korrekturvektor wird anschließend zu dem Signalvektor  $S$  hinzuaddiert, wobei die Lage des maximalen Elements innerhalb des Signalvektors  $S$  berücksichtigt wird. Der von der Korrekturvorrichtung 17 gelieferte in Bezug auf den Crest-Faktor erniedrigte Signalvektor  $S$  wird dem Parallel-Seriell-Wandler 5 zugeführt,  
25 indem das Guard-Intervall 5 zugefügt wird.  
30

In Figur 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt, wobei das Guard-Intervall  $G$  vor der Addition des Korrekturvektors angefügt wird. Nach dem Parallel-Seriell-Wandler 5  
35 durchläuft das Signal ein Tiefpassfilter 18, in dem die Abtastfrequenz  $f_A$  jedoch nicht verdoppelt wird. Das Ausgangssignal des Tiefpassfilters 18 wird in einen Seriell-Parallel-

Wandler 31 geleitet, der den gefilterten, mit Guard-Intervall G versehenen Signalvektor parallel an eine Korrekturvorrichtung 32 weitergibt, die einen Korrekturvektor berechnet und mittels einer von einer Fenstervorrichtung 30 gelieferten

5 Fensterfunktion fenstert. Der berechnete Korrekturvektor wird hinzuaddiert und der Summenvektor über einen sich anschließenden Parallel-Seriell-Wandler 29 seriell ausgegeben. Da in diesem Fall die Korrekturvorrichtung 32 als Eingangssignal den bereits um das Guard-Intervall G erweiterten Signalvektor  
10 S geliefert bekommt, muss das in Verbindung mit Figur 6 Gesagte berücksichtigt werden, wonach Teile des Fensterbereichs H, die in das Guard-Intervall G fallen, dort auftreten und gleichzeitig auch an dem entgegengesetzten Ende des Signalvektors angefügt werden müssen.

15

Bei allen Ausführungsbeispielen wird mehrmals hintereinander ein gefensterter Korrekturvektor berechnet und dem Signalvektor additiv überlagert, wobei die Lage des Fensterbereichs jeweils auf die Lage des im jeweiligen Schritt größten Elements im Signalvektor abgestimmt wird.  
20

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Verändern des Crest-Faktors eines zeitdis-  
5 kreten Signals, das von zeitlich aufeinander folgenden Sig-  
nalwerten ( $y_k$ ) eines Signalvektors ( $y$ ) gebildet ist, bei wel-  
chem Verfahren in Abhängigkeit des Signalvektors ( $y$ ) wenigst-  
ens ein Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) berechnet und zum Signalvektor  
( $y$ ) addiert wird,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Elemente des wenigstens einen Korrekturvektors ( $\Delta y$ )  
ein Signal beschreiben, dessen obere und/oder untere Hüllkur-  
ve wenigstens einen lokalen Extremwert aufweist.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die obere und/oder untere Hüllkurve wenigstens ein loka-  
les Maximum aufweist.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die obere und/oder untere Hüllkurve wenigstens ein loka-  
les Minimum aufweist.
- 25 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) durch Multiplikation eines  
Grundvektors mit einer Fensterfunktion berechnet wird.
- 30 5. Verfahren nach Anspruch 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Fensterfunktion wenigstens einen Fensterbereich von  
aufeinander folgenden Elementen aufweist, in dem die Werte  
der Fensterfunktion von Null verschieden sind, wobei die Wer-  
35 te der Fensterfunktion außerhalb des wenigstens einen Fens-  
terbereichs Null sind.



6. Verfahren nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass ein von einem ersten Ende des Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) unterbrochener Fensterbereich an dem anderen zweiten Ende des  
5 Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) fortgesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Fensterfunktion ein Rechteckfenster, ein Dreieckfenster, ein Von-Hann-Fenster, ein Gauss-Fenster, ein Hamming-Fenster oder ein Blackman-Fenster beschreiben.  
10
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass der wenigstens eine Fensterbereich der Fensterfunktion in Bezug auf die zeitliche Abfolge der Elemente des Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) derart angeordnet ist, dass ein Maximalwert des Signalvektors ( $y$ ) innerhalb des Fensterbereichs liegt.
- 20 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Grundvektor nur Frequenzanteile enthält, die an den Rändern eines Nutzspektrums liegen, das sich von einer niedrigen Frequenz, insbesondere der Frequenz Null bis zur halben  
25 Abtastfrequenz des Signalvektors ( $y$ ) erstreckt.
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Elemente des Grundvektors abwechselnd einen von zwei  
30 Werten annehmen.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass wiederholt ein Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) berechnet und zum  
35 Signalvektor ( $y$ ) addiert wird und die Hüllkurve der von den verwendeten Korrekturvektoren ( $\Delta y$ ) beschriebenen Signale ih-

ren zumindest einen lokalen Extremwert an unterschiedlichen Stellen aufweisen.

12. Verfahren nach Anspruch 11,

5 dadurch gekennzeichnet,  
dass nach der ersten Addition eines Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) zu dem Signalvektor ( $y$ ) folgende Korrekturvektoren ( $\Delta y$ ) in Abhängigkeit des durch die vorangegangene Addition entstandenen Summenvektors berechnet werden.

10 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

dass das Signal Träger von Daten ist, wobei alle Spektralan-  
teile von Daten unterhalb der durch  $2^{N-1}$  geteilten Abtastfre-  
15 quenz des Signals liegen, dass die Signalwerte  $y_k$  des Signal-  
vektors ( $y$ ) nach einer Filterung zyklisch abwechselnd auf  $2^N$   
Teilsignalvektoren aufgeteilt werden und für jeden Teilsig-  
nalvektor unabhängig wenigstens ein Korrekturvektor ( $Dy$ ) aus  
dem jeweiligen Teilsignalvektor berechnet und zu dem jeweili-  
20 gen Teilsignalvektor hinzuaddiert wird, und anschließend die  
Elemente der Teilsignalvektoren zyklisch abwechselnd zu einem  
Ausgabesignalvektor zusammengesetzt werden, wobei  $N$  ganzzah-  
lig und  $\geq 1$  ist.

25 14. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,  
dass die Elemente ( $\Delta y'_k$ ) des Grundvektors ( $y'$ ) aus dem größ-  
ten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemen-  
te ( $y_k$ ) des digitalen Signalvektors ( $y$ ) wie folgt berechnet  
30 werden:

$$\Delta y'_k = -\frac{1}{2} \cdot (-1)^k \left( \max((-1)^k \cdot y_k) + \min((-1)^k \cdot y_k) \right),$$

mit  $k = 1, \dots$ , Anzahl der Elemente des Signalvektors.

15. Verfahren nach Anspruch 4,

35 dadurch gekennzeichnet,

26

dass die Elemente  $(\Delta y'_k)$  des Grundvektors  $(y')$  aus dem größten (max) Element und dem kleinsten (min) Element der Elemente  $(y_k)$  des digitalen Signalvektors  $(y)$  wie folgt berechnet werden:

5

$$\Delta y'_k = -\frac{1}{2} \cdot (\max(y_k) + \min(y_k))_k$$

mit  $k = 1, \dots$ , Anzahl der Elemente des Signalvektors  $(y)$ .

16. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

10

dass die Elemente des Korrekturvektors  $\Delta y_\mu$  im Fensterbereich wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_\mu = -Vz \cdot d_{opt} \cdot (-1)^\mu \cdot w(\mu),$$

15

wobei  $\mu$  der Laufindex im Fensterbereich ist und von 0 bis  $M-1$  geht,  $w(\mu)$  die Fensterfunktion ist,  $Xh$  ein Hilfsvektor mit dem Laufindex  $\mu$  und den Elementen des Signalvektors im Fensterbereich ist, das maximale Element  $Xh_{max}$  des Hilfsvektors sich an der Stelle  $\frac{1}{2} \cdot (M-1) + 1$  befindet,  $Vz$  gleich

20

$$Vz = \text{Vorzeichen} \left( Xh \left( \frac{M-1}{2} + 1 \right) \right)$$

ist, und  $d_{opt}$  sich wie folgt berechnet:

25

$$d_{opt} = \text{Min} \left( \frac{Xh_{max} + Xh_\mu}{1 + w(\mu)} \right).$$

17. Verfahren nach Anspruch 4,

dadurch gekennzeichnet,

30

dass die Elemente des Korrekturvektors  $\Delta y_\mu$  im Fensterbereich wie folgt berechnet werden:

$$\Delta y_\mu = -Vz \cdot d_{opt} \cdot w(\mu),$$

wobei  $\mu$  der Laufindex im Fensterbereich ist und von 0 bis  $M-1$  geht,  $w(\mu)$  die Fensterfunktion ist,  $X_h$  ein Hilfsvektor mit dem Laufindex  $\mu$  und den Elementen des Signalvektors im Fensterbereich ist, das maximale Element  $X_{h_{\max}}$  des Hilfsvektors  
 5 sich an der Stelle  $\frac{1}{2} \cdot (M-1) + 1$  befindet,  $V_z$  gleich:

$$V_z = \text{Vorzeichen} \left( X_h \left( \frac{M-1}{2} + 1 \right) \right)$$

ist, und  $d_{\text{opt}}$  sich wie folgt berechnet:

10

$$d_{\text{opt}} = \text{Min} \left( \frac{X_{h_{\max}} + X_{h_{\mu}}}{1 + w(\mu)} \right)$$

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

15 dass der Signalvektor (y) zu Beginn an einem ersten Ende um wenigstens ein Element des Signalvektors beginnend vom entgegengesetzten zweiten Ende des Signalvektors (y) verlängert wird.

20 19. Verfahren nach Anspruch 18,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Verlängerung des Signalvektors (y) am ersten Ende zu Beginn des Verfahrens durchgeführt wird und der wenigstens eine Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) entsprechend der Verlängerung des  
 25 Signalvektors (y) an einem ersten Ende des Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) um wenigstens ein aufeinander folgendes Element des Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) beginnend am entgegengesetzten zweiten Ende des Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) verlängert wird, so dass der  
 30 Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) und der Signalvektor (y) um die gleiche Anzahl von Elementen verlängert wird.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

35 dass der Signalvektor (y) durch inverse Fourier-Transformation berechnet ist.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Signalvektor ( $y$ ) Daten nach dem Verfahren der dis-  
5 kreten Multitonmodulation enthält.
22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Verfahren zur Datenübertragung über Telefonleitungen  
10 nach dem ADSL-Standard verwendet wird.
23. Vorrichtung zum Verändern des Crest-Faktors eines zeit-  
diskreten Signals, das von zeitlich aufeinander folgenden  
Signalwerten ( $y_k$ ) eines Signalvektors ( $y$ ) gebildet ist, wobei  
15 die Vorrichtung derart eingerichtet ist, dass sie in Abhän-  
gigkeit des Signalvektors ( $y$ ) wenigstens einen Korrekturvek-  
tor ( $\Delta y$ ) berechnet und zum Signalvektor ( $y$ ) addiert,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Vorrichtung derart eingerichtet ist, dass sie den  
20 wenigstens einen Korrekturvektor ( $\Delta y$ ) derart berechnet, dass  
die Elemente des wenigstens einen Korrekturvektors ( $\Delta y$ ) ein  
Signal beschreiben, dessen obere und/oder untere Hüllkurve  
wenigstens einen lokalen Extremwert aufweist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 23,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach  
einem der Ansprüche 1 bis 18 eingerichtet ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Vorrichtung ein Signalprozessor ist.

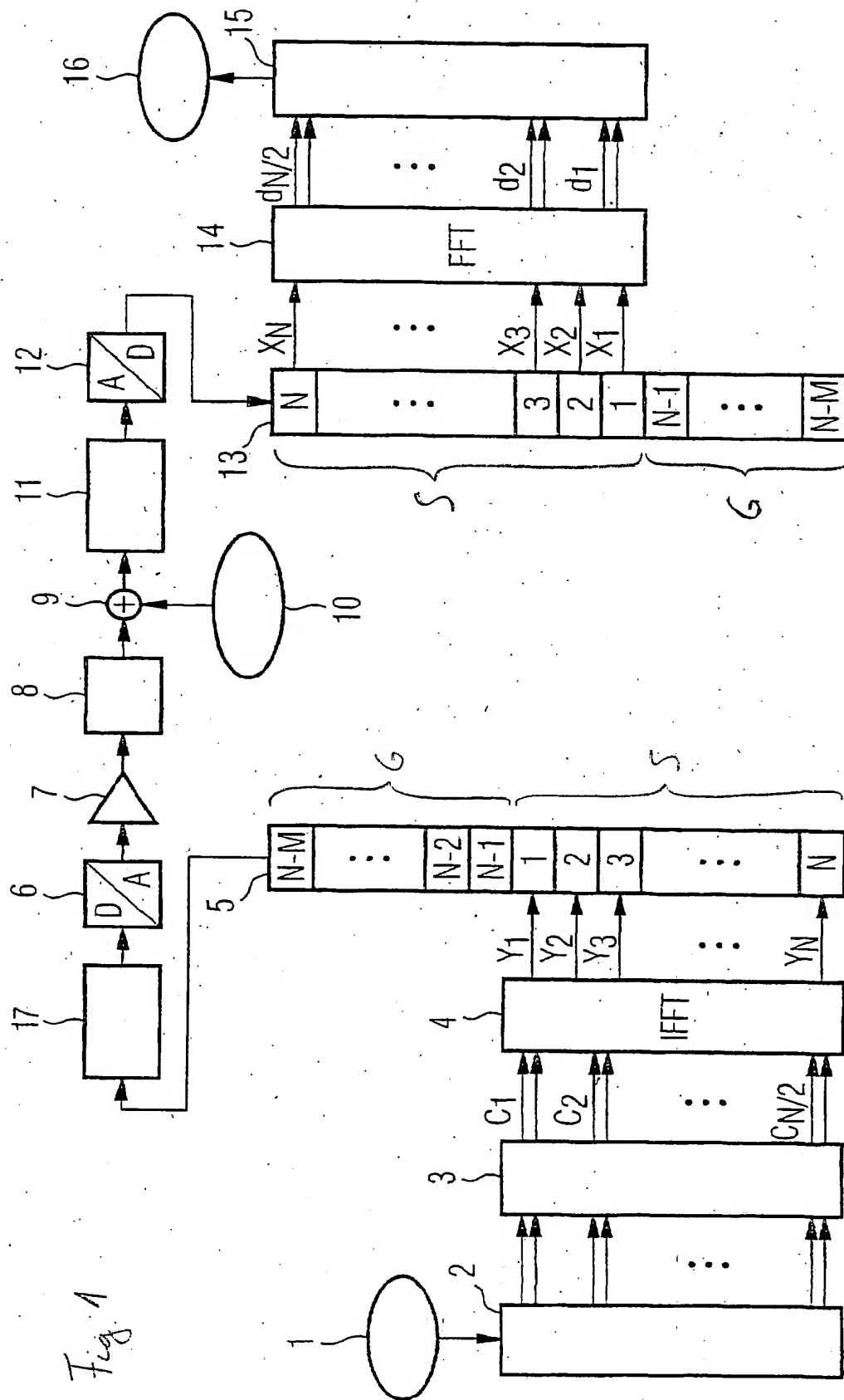
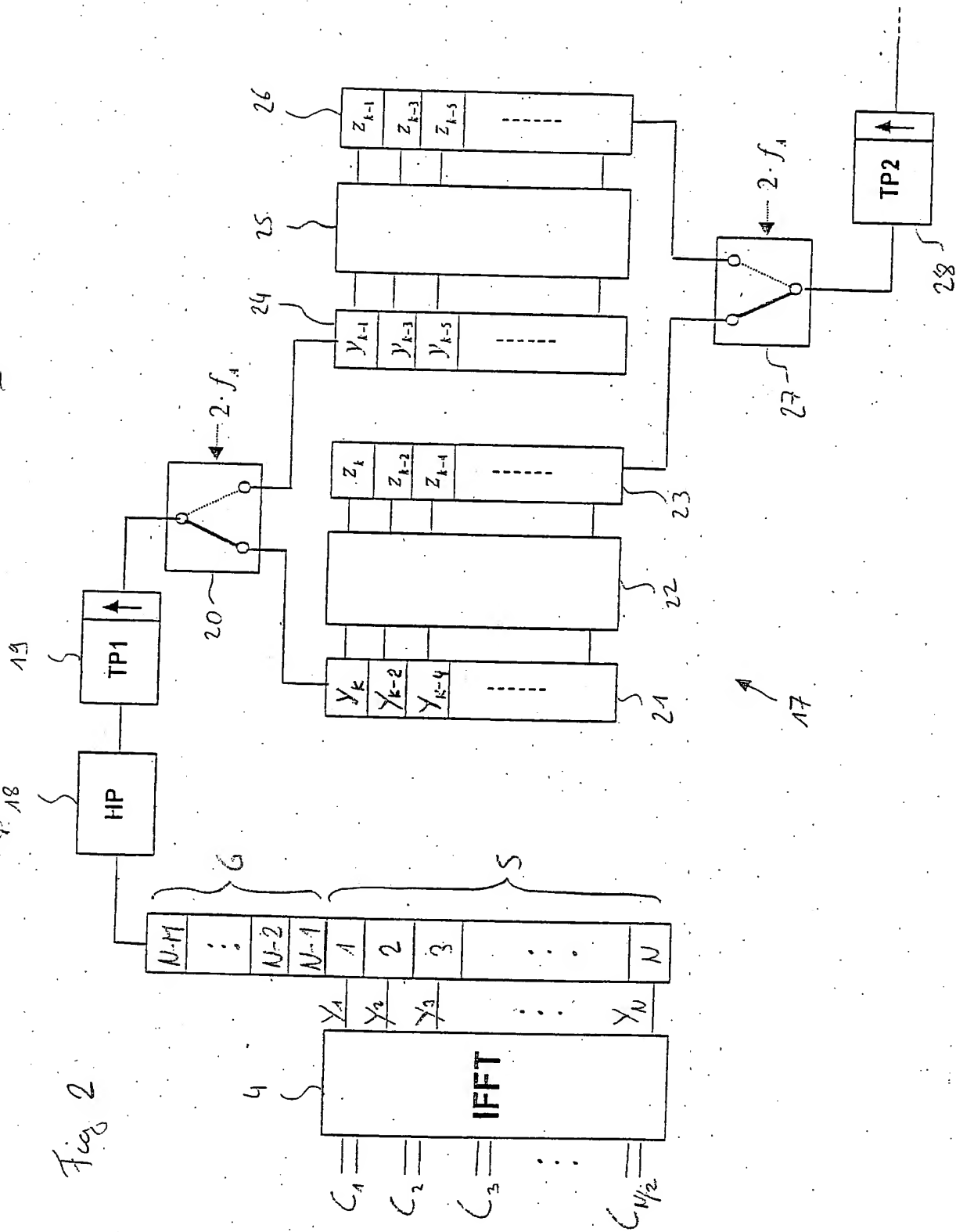


Fig. 1

Fig 2



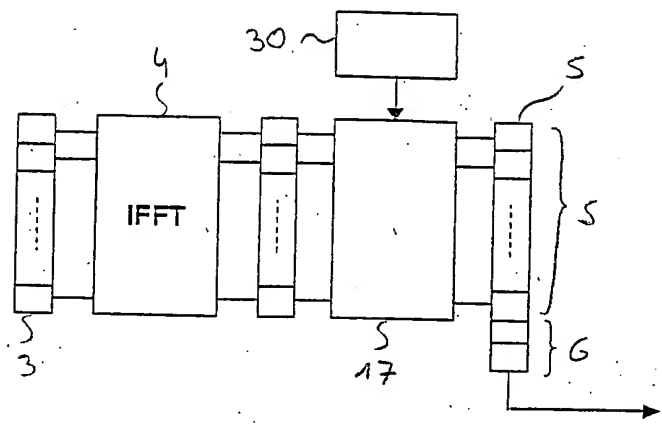


Fig. 3

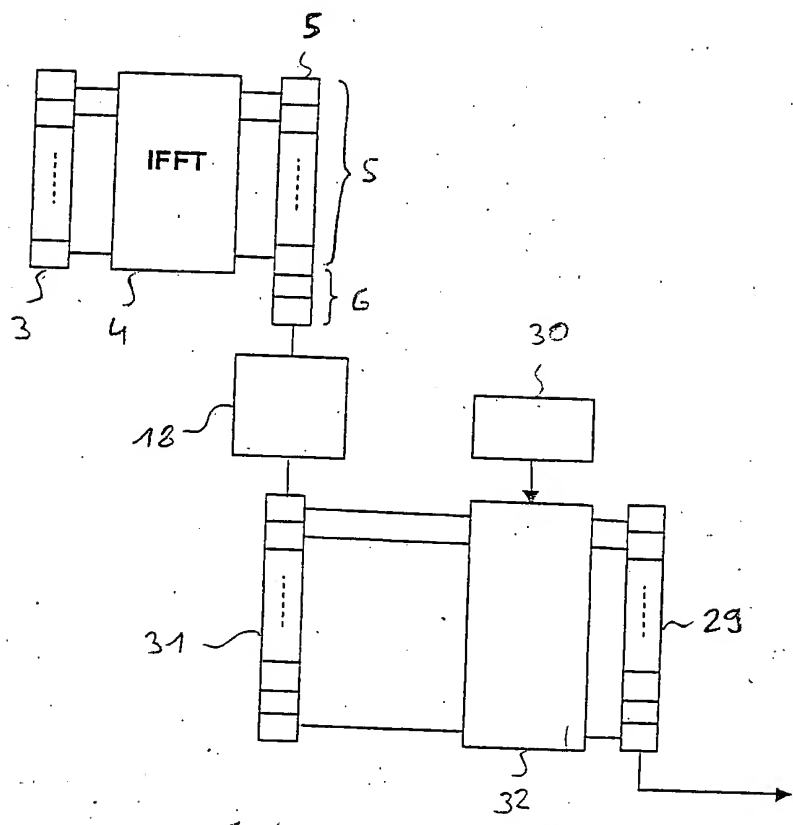
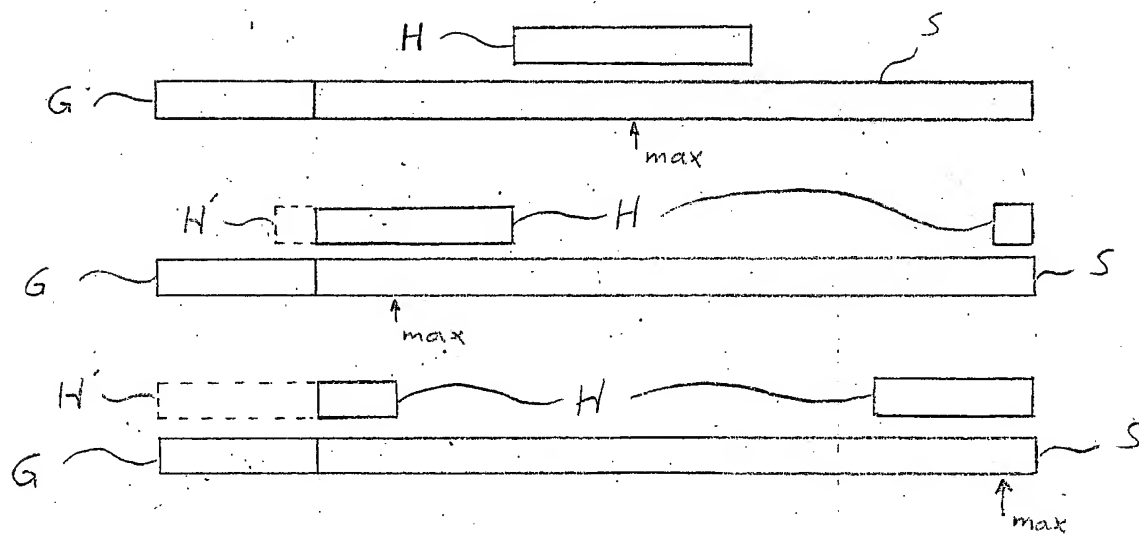
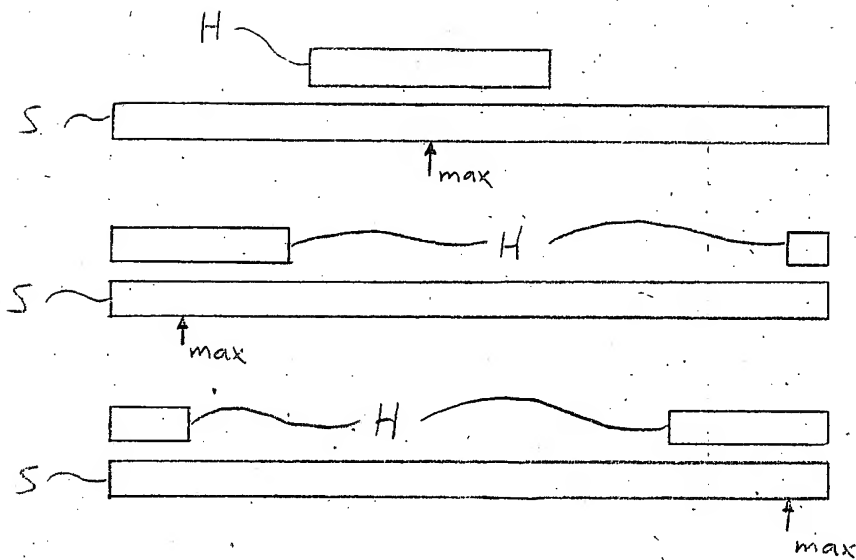


Fig. 4





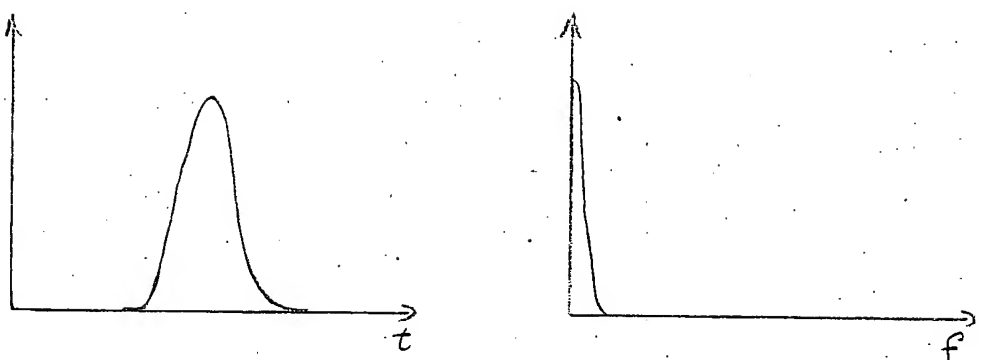


Fig. 7

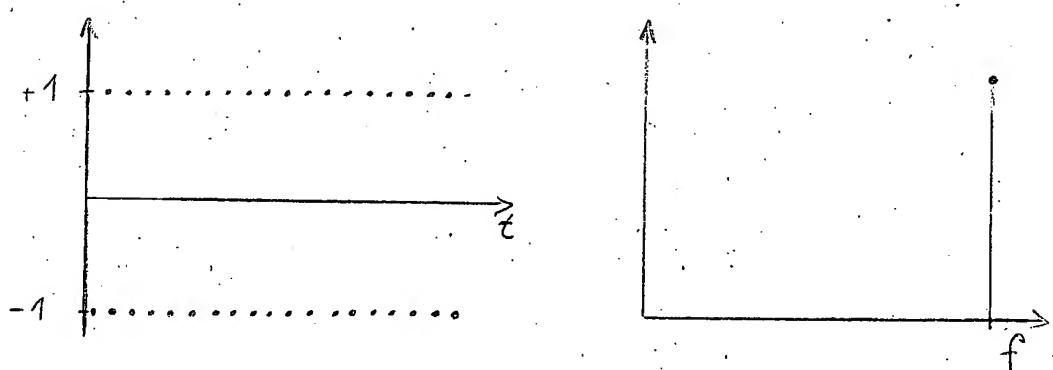


Fig. 8

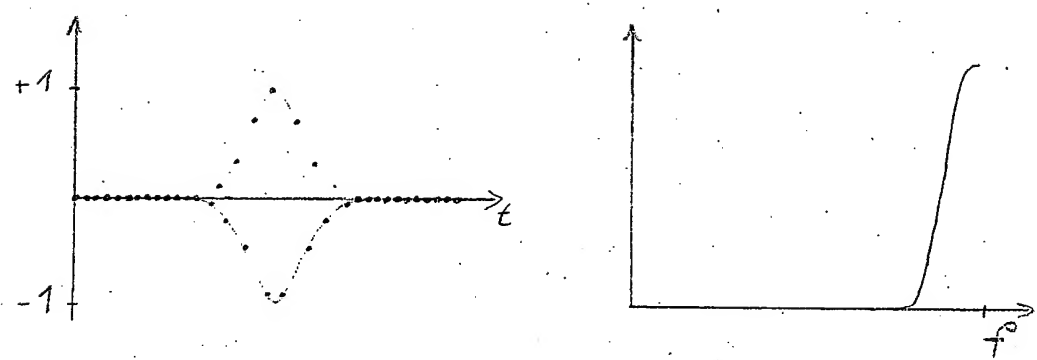


Fig. 9

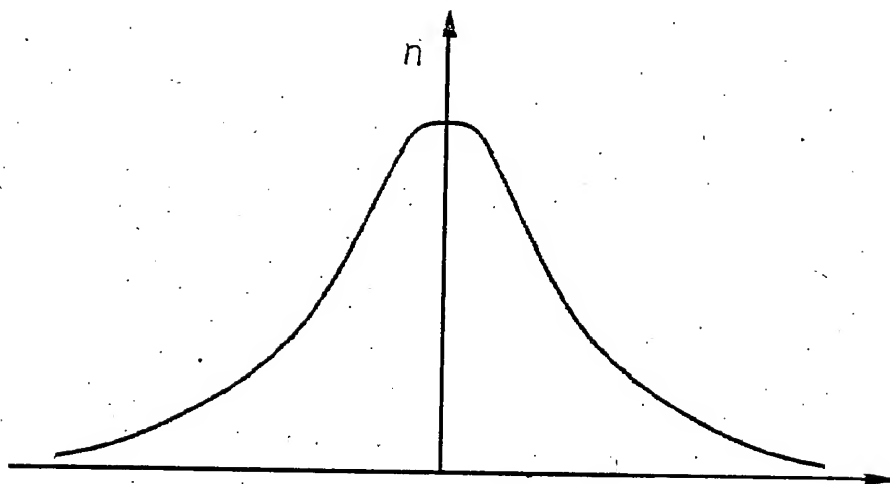


Fig. 10

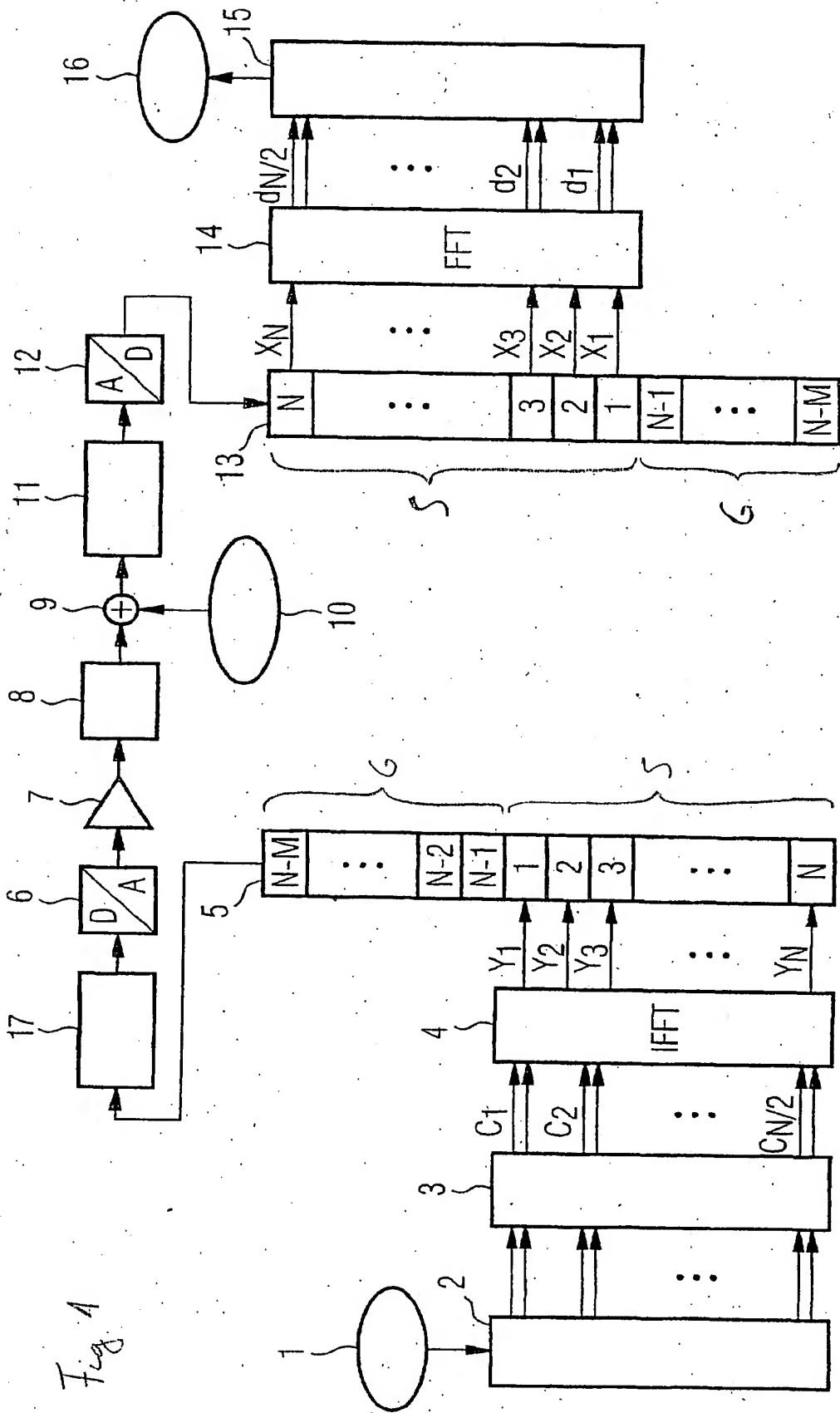
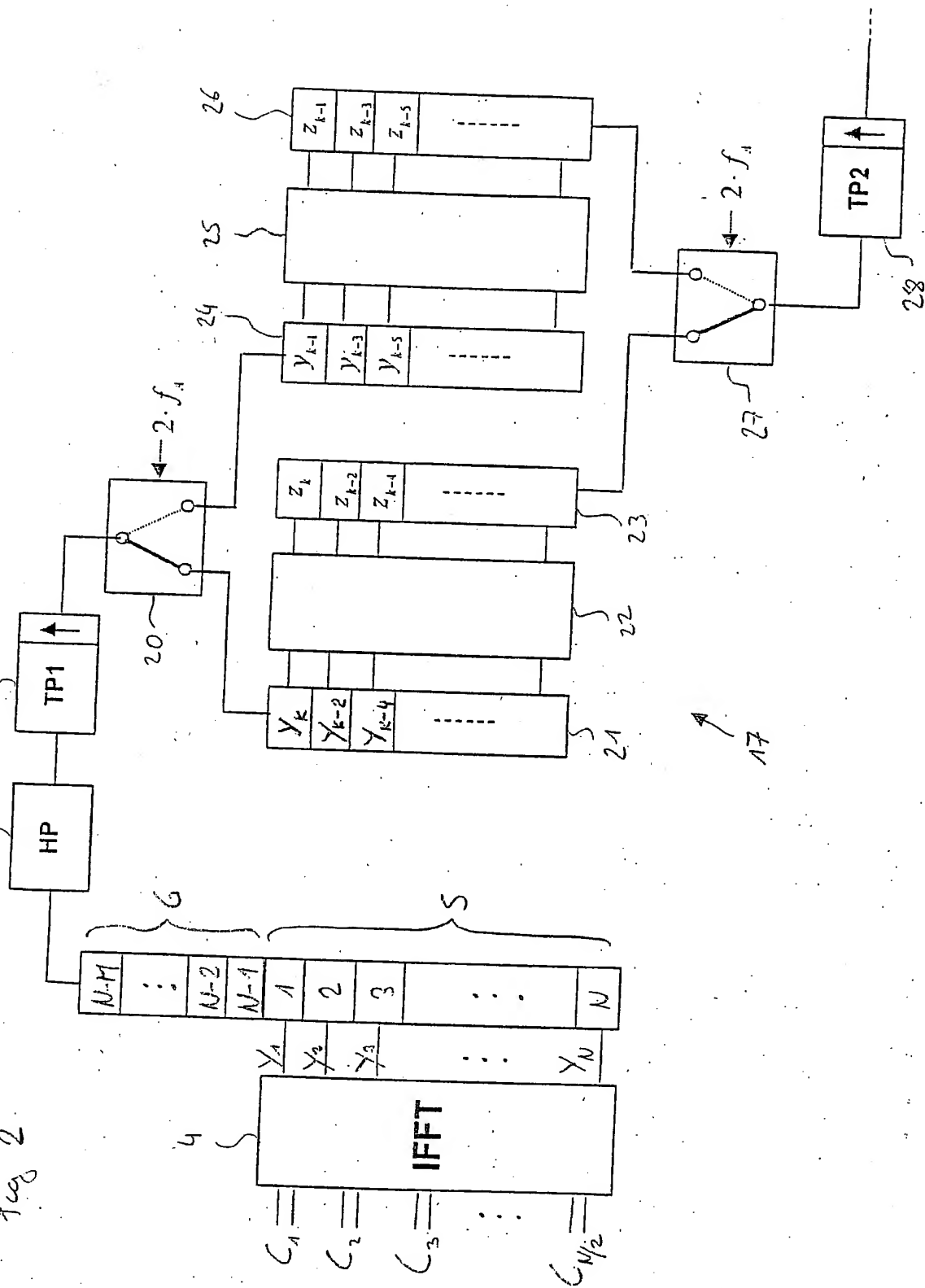


Fig. 1

Fig 2



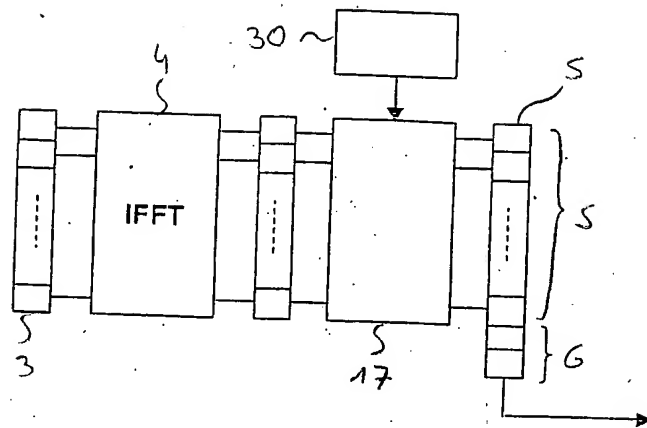


Fig. 3

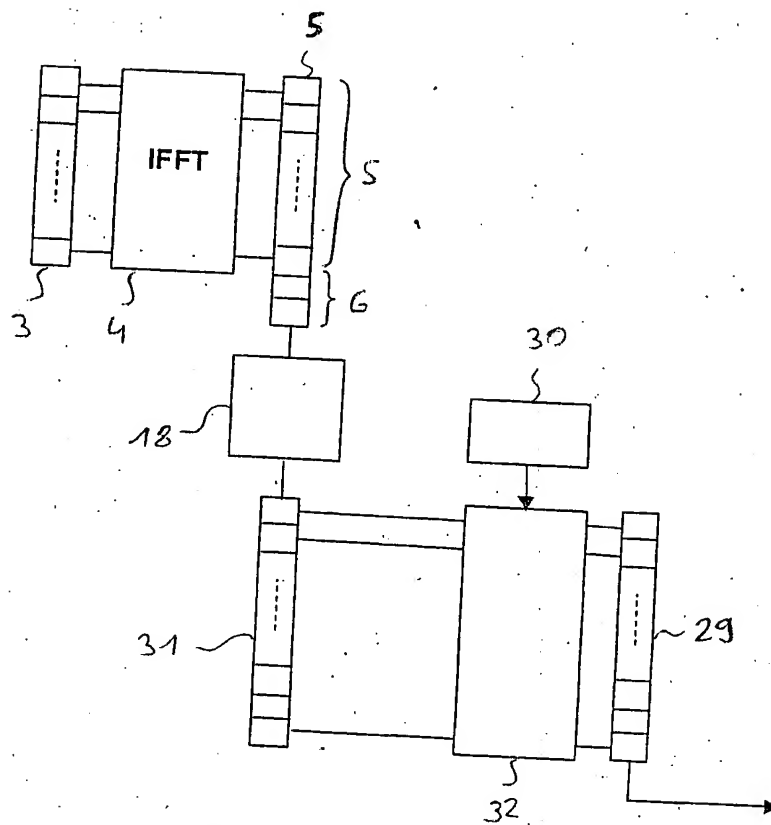


Fig. 4







